

УДК 622.692.4.053:624.13

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕРОЙНЫЕ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ, КАК СРЕДСТВО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАДЕЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

МУСИЙКО В. Д., к.т.н., проф.

Кафедра дорожных машин, Национальный транспортный университет, ул. Суворова, 1, 01010, г. Киев, Украина, тел: +38 (044) 280-97-73, email: musvd@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-9983-3296.

Аннотация. Постановка проблемы. Современное состояние трубопроводных транспортных магистралей в Украине и в других странах диктует необходимость срочного выполнения их капитального ремонта. Существующие технические средства выполнения капитального ремонта, прежде всего машины для земляных работ и технологии их использования, не позволяют выполнять капитальный ремонт трубопроводов необходимыми темпами. **Цель.** Решение вопроса может быть достигнуто путем создания новых землеройных машин непрерывного действия, использование которых позволит повысить темпы выполнения земляных работ в процессе капитального ремонта трубы, обеспечить ремонт трубопровода скоростным безподъемным методом, что не порядок повысит безопасность выполнения ремонта. **Выводы.** Созданные в результате выполнения комплекса исследований машины, обеспечивают производительность земляных работ 80-120 пог. м./час в зависимости от диаметра трубопровода и грунтовых условий. Появляется возможность безопасного, на расстоянии от трубы 200±50 мм, синхронного перемещения с заданной скоростью всех машин технологической колонны вдоль трубопровода при выполнении его ремонта. Устраняются противоречия между темпами выполнения земляных и ремонтных работ на трубе. Использование специальных землеройных машин непрерывного действия исключает потребность в дополнительной поддержке или подъеме трубы в процессе ее ремонта.

Ключевые слова: трубопровод, грунт, машина, темп, противоречие, поддержка, подъем.

СПЕЦІАЛЬНІ ЗЕМЛЕРІЙНІ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ, ЯК ЗАСІБ ВІДНОВЛЕННЯ НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРУБОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

МУСИЙКО В. Д., к.т.н., проф.

Кафедра дорожніх машин, Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, 01010, г. Київ, Україна, тел: +38 (044) 280-97-73, email: musvd@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-9983-3296.

Анотація. Постановка проблеми. Сучасний стан трубопровідних транспортних магістралей в Україні та в інших країнах диктує необхідність термінового виконання їх капітального ремонту. Існуючі технічні засоби виконання капітального ремонту, перш за все машини для земляних робіт і технології їх використання, не дозволяють виконувати капітальний ремонт трубопроводів необхідними темпами. **Мета.** Вирішення питання може бути досягнуто шляхом створення нових землерійних машин безперервної дії, використання яких дозволить підвищити темпи виконання земляних робіт в процесі капітального ремонту труби, забезпечити ремонт трубопроводу швидкісним безпідйомним методом, що на порядок підвищить безпеку виконання ремонту. **Висновки.** Створені в результаті виконання комплексу досліджень машини, забезпечують продуктивність земляних робіт 80-120 пог. м/год. залежно від діаметра трубопроводу і грунтових умов. З'являється можливість безпечно, на відстані від труби 200 ± 50 мм, синхронного переміщення із заданою швидкістю всіх машин технологічної колони уздовж трубопроводу при виконанні його ремонту. Усуваються протиріччя між темпами виконання земляних та ремонтних робіт на трубі. Використання спеціальних землерійних машин безперервної дії виключає потребу в додатковій підтримці або підйомі труби в процесі її ремонту.

Ключові слова: трубопровід, грунт, машина, темп, протиріччя, підтримка, підйом.

SPECIAL CONTINUOUS ACTION EARTHMOVING MACHINES, AS A RECOVERY TOOL OF MAJOR PIPELINE RELIABLE OPERATION

MUSIJKO V. D., Ph. D., Professor.

Department of Road of machines, National transport university, Suvorova st., 1, 01010, Kiev, Ukraine, tel: +38 (044) 280-97-73, email: musvd@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-9983-3296.

Summary. Raising of problem. The current state of pipeline highways in Ukraine and in other countries, calls for the urgent implementation of overhaul. Existing hardware for performance of major repairs, especially machines for excavation and their using technology does not allow to carry out major repairs of the pipelines with necessary rates. **Purpose.** Solution of the problem can be reached by the new continuous action earthmoving machines creating. The using of them allows to increase the rates of earthworks in process of major pipeline repair, to provide the pipeline reparing by the fast non-lifting method. It will increase the safety of repairing. **Conclusions.** Created machines as a result of complex research provide the performance of earthworks 80-120 run. m/h depending on the diameter of the pipeline and ground conditions. It becomes possible to safe (distance from the pipe 200±50 mm) and synchronous movement with a predetermined speed of technological columns machines along the pipeline while its repairing. Contradictions between the rate of excavation and repair work on the pipe are removed. The using of the special continuous action earthmoving machines eliminates the need for additional support or lifting tube in the process of its repair.

Keywords: pipeline, soil, machine, rate, contradiction, support, lifting.

В обеспечении надежности функционирования трубопроводных транспортных систем немаловажную роль играет своевременный и качественный ремонт трубопроводов. Риск отказов и аварий на магистральных трубопроводах должен быть сведен к нулю.

Вопрос в том, каким образом, с использованием какой техники и технологии возможно в самые сжатые сроки выполнить необходимые объемы работ по капитальному ремонту линейной части магистральных нефте- и газопроводов?

Расчеты специалистов Акционерной компании "Транснефть" и ГП "Приднепровские магистральные нефтепроводы" (Украина) показали, что для выполнения капитального ремонта магистральных нефтепроводов ремонтными колоннами, оснащенными современной техникой общестроительного назначения понадобится порядка 80 лет. Это слишком большой срок. Отсюда вывод о том, то без создания и использования современной специализированной техники, разработки рациональной технологии ее использования, решить эту проблему невозможно в любой стране мира. При этом следует иметь в виду, что одним из наиболее сдерживающих факторов увеличения темпов выполнения работ по капитальному ремонту магистральных трубопроводов есть низкие темпы выполнения земляных работ в технологическом процессе ремонта трубопровода. Такое положение вещей диктует необходимость создания принципиально новой землеройной техники непрерывного действия, использование которой позволит безопасно вести земляные работы на трубопроводах скоростным

методом минимизируя объемы грунта, разрабатываемые при вскрытии 1 пог. м трубопровода при его ремонте.

В 1994 году работы по созданию новой техники были включены в Российско-Украинскую научно-техническую программу "Высоконадежный трубопроводный транспорт". Создание новой техники позволяет решать не только проблемы общестроительного значения, а и даст мощный толчок развитию дорожно-строительного машиностроения как отрасли.

Выполненные исследования технологических возможностей известных конструкций землеройных машин непрерывного действия и анализ современного состояния магистральных нефте- и газопроводов в мире, изношенных в целом больше чем на 70 %, [8] показали наличие проблемы необходимости восстановления скоростными темпами надежной и безаварийной эксплуатации трубопроводов и создания новой техники для его обеспечения.

Научно-техническая проблема состоит в устранении несоответствия темпов выполнения земляных работ при капитальном ремонте трубопроводов темпам выполнения ремонтных работ.

Решения проблемы может быть осуществлено путем создания специальной землеройной техники непрерывного действия, использование которой позволит вести капитальный ремонт трубопроводов в траншее скоростным безподъемным методом.

В разных странах мира практически одновременно построены сотни тысяч километров магистральных трубопроводов (только в Украине насчитывается

приблизительно 40 тыс. км магистральных газопроводов и 5 тыс. км нефтепроводов [8, 9]. В РФ магистральных газопроводов – около 200 тыс. км, нефтепроводов – 49 тыс. км [2]). Гарантийные сроки их безопасной эксплуатации 25-30 лет. Для подавляющего большинства трубопроводов этот срок истек на 60-70%, поэтому проблема обеспечения безаварийной эксплуатации предстала перед человечеством в полной мере [2]. Она может быть решена срочной заменой изношенных труб новыми, либо путем обеспечения скоростного и качественного капитального ремонта трубопроводов, что в 2-2,5 раза дешевле.

При современных темпах выполнения ремонтных, прежде всего земляных, работ на магистральных трубопроводах и уровня технического оснащения ремонтных колонн для сохранения в эксплуатационном состоянии современного парка магистральных нефте- и газопроводов нужно или в 6-8 раз увеличить количество ремонтных колонн, что связано с непомерными капиталовложениями, или во столько же раз повысить темпы выполнения работ путем оснащения ремонтных подразделений новой высокопроизводительной техникой. Последний вариант более приемлемый.

Технологии, когда земляные работы в зоне ремонта и открытия трубопроводов осуществляются бульдозерами и одноковшовыми экскаваторами [11] с последующим подъемом трубы из грунтового ложа с помощью трубоукладчиков малопродуктивны, высокочрезмерно затратны и могут провоцировать возникновение аварийных ситуаций с тяжелыми последствиями [2, 11].

В условиях растущих требований к решению вопросов экологии, скорости и безопасности выполнения ремонтных работ, при многократном увеличении прямых и косвенных затрат на ликвидацию последствий аварий на линейной части магистральных трубопроводов следует считать целесообразным создание новых технических средств высокой производительности и разработку новой

технологии безопасного выполнения ремонтных работ на трубопроводах. Их создание и использование должны обеспечить проведение капитального и выборочного ремонта действующих нефте- и газопроводов без подъема трубы с грунтового ложа без нарушения линии их исходного залегания на прямых и радиусных участках в плане, при наличии продольных и поперечных уклонов местности и без использования промежуточных опор. Использование машин должно обеспечить паритет скоростей выполнения различных технологических операций ремонта без подъема трубы относительно линии ее исходного залегания.

Создание современных землеройных машин непрерывного действия базируется на использовании фундаментальных теоретических закономерностей их рабочих процессов, установленных различными авторами и в разное время [1, 4, 6, 11]. Это позволило создать многочисленные, известные конструкции траншейных машин с роторным и цепным рабочим оборудованием.

Создание высокоэффективных землеройных машин для работы на трубопроводах требует решения нескольких специфических задач. Прежде всего это касается решения вопроса синтеза конструкций специальных землеройных машин, способных эффективно и безопасно разрабатывать грунт на прямых и криволинейных в плане участках трубопроводов на заданном расстоянии от трубы и без передачи нагрузок на трубу. Необходимость обеспечения высоких скоростей выполнения земляных работ на трубопроводах, в том числе в переувлажненных липких глинистых и суглинистых грунтах, требовала доказательств возможностей реализации в рабочих органах землеройных машин непрерывного действия различных скоростей разработки грунта и его разгрузки за счет интенсификации процессов разгрузки, определение основных параметров и рациональных режимов

работы интенсификаторов разгрузки как средства обеспечения необходимой производительности работы машин. Создание необходимых машин для выполнения земляных работ при капитальном ремонте трубопроводов побудило к поиску способа и режимов обеспечения сооружения за один проход машины в траншее под отремонтированным трубопроводом грунтовой опоры необходимой прочности, обеспечивающей выполнение ремонта трубы безподъемным способом, без нарушения положения линии исходного залегания трубопровода.

Разработка алгоритма автоматического управления безопасным перемещением землеройных машин в режиме копания грунта вдоль трубопровода и успешное решение выше приведенных задач, позволили разработать новые технические решения конструкций специальных землеройных машин, а также сменного оборудования к одноковшовым экскаваторам и обосновать рациональные технологические схемы их использования [1, 2, 10].

Создание машин позволило практически реализовать научную идею обеспечения соответствия темпов выполнения земляных работ темпам выполнения ремонтных работ на трубопроводах и обеспечить необходимый уровень безопасности выполнения ремонтных работ. Выбор рациональных конструктивных и кинематических параметров рабочего оборудования и землеройных машин в

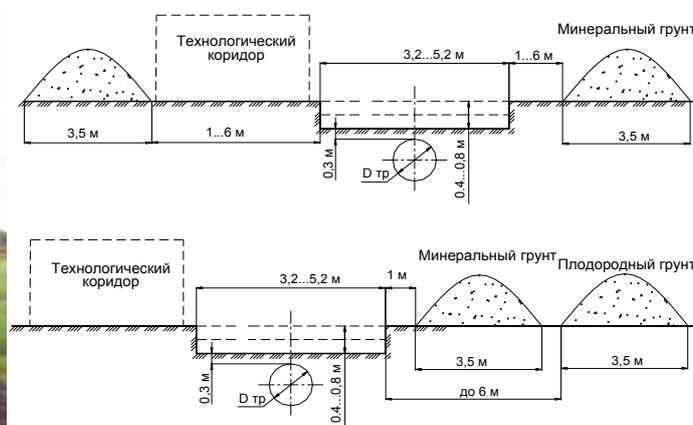
целом осуществлено путем анализа результатов исследований их математических и физико-математических моделей.

Силовые и энергетические параметры нагружения машин и рабочего оборудования определены по результатам выполнения экспериментальных исследований как физических моделей, так и натуральных образцов машин. В процессе испытаний доказана объективность технических решений, адекватность теоретических моделей, оценены технические и технологические возможности машин и их соответствие действующим ведомственным строительным нормам и государственным стандартам.

В результате проведенных исследований создан ряд новых усовершенствованных специальных землеройных машин непрерывного действия для капитального ремонта трубопроводов. Машин сертифицированы Центром сертификации объектов нефтегазового комплекса (Украина, г. Днепропетровск). Серийное производство машин налажено на ГП "Завод им. В.А. Малышева" (г. Харьков, Украина). Выпускаются разные по технологическому назначению машины. Прежде всего, это машина послыной разработки и рекультивации плодородных грунтов при выполнении капитального ремонта магистральных трубопроводов [7, 12], МПРГ-1М, рис. 1.



а



б

Рис. 1. Машина МПРГ-1М: а – вид машины; б – схема рабочего процесса.

Назначение машины заключается в разработке над трубопроводом, подлежащем ремонту, плодородного слоя грунта заданной толщины и ширины и складировании его в отдельный бруствер сбоку, на заданном расстоянии от образованной выемки. В процессе работы снимаются поперечные наклоны рельефа

местности над трубой, перемещение плодородного грунта осуществляется без его перемешивания с минеральным. При копании грунта исключается перемещение машины поперек трубопровода.

Раскрытие трубопровода сверху и с обеих сторон трубы осуществляется специальной машиной МВТ-2М, рис. 2.



а

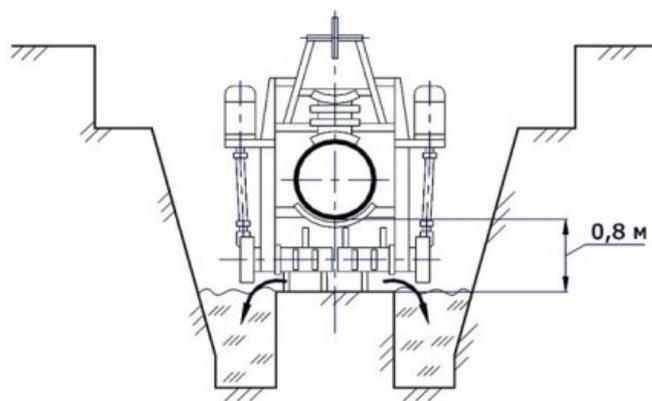


б

Рис. 2. Машина МВТ-2М: а – вид машины; б – схема рабочего процесса.



а



б

Рис. 3. Машина МПП-1М: а – вид машины; б – схема рабочего процесса.

Используя автоматический электронный контроль максимального отклонения рабочего органа от оси трубопровода, не превышающего ± 50 мм от оси трубы, машина обеспечивает раскрытие трубопровода и создание оптимальных условий для работы подкапывающей машины перемещаясь вдоль трубопровода в

режиме копания грунта в соответствии разработанного алгоритма управления рабочим процессом.

Во время работы машины МВТ-2М, объем разрабатываемого грунта в забое уменьшается на 35-45%, а производительность увеличивается в 5-7 раз

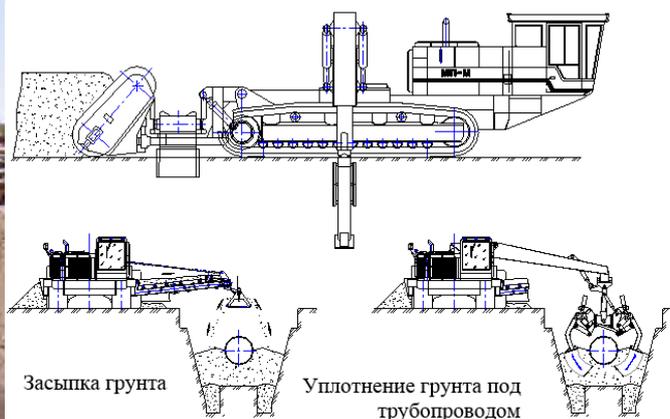
по сравнению с раскрытием трубопровода одноковшовым экскаватором.

Роторная подкапывающая машина МПР-1М перемещается в режиме копания грунта под трубой собственно по самому трубопроводу, обеспечивая разработку грунта и перемещая его в прямки вдоль

ремонтируемого трубопровода. В процессе работы машина полностью раскрывает трубопровод по периметру на прямых и криволинейных его участках, обеспечивая свободное прохождение по трубопроводу очистной и изоляционной машин, рис. 3.



а



б

Рис. 4. Машина МП-М: а – вид машины; б – схема рабочего процесса.

Машина для засыпки и уплотнения грунта под трубопроводом МП-М, рис. 4, предназначена для дозированной засыпки грунта из отвала под отремонтированный трубопровод и равномерного уплотнения его в процессе сооружения опоры из уплотненного грунта под трубой. Наличие грунтовой опоры обеспечивает выполнение капитального ремонта трубопровода безподъемным методом. Степень уплотнения грунта $0,96 \sigma_b$, равномерное уплотнение осуществляется за один проход машины вдоль трубопровода.

Выводы. 1. Техническая производительность земляных работ при выполнении капитального ремонта магистральных трубопроводов с использованием специальной землеройной техники после ее модернизации в зависимости от диаметра трубопровода и

грунтовых условий составляет 80-120 пог. м/час. 2. Главное преимущество созданной специальной землеройной техники и технологии заключается в том, что появляется возможность безопасного, на расстоянии от трубы 200 ± 50 мм, синхронного перемещения с заданной скоростью всех машин технологической колонны вдоль трубопровода при выполнении ремонта, устраняются противоречия между темпами выполнения земляных и ремонтных работ.

3. Исключена потребность в дополнительной поддержке или подъеме трубы в процессе ее ремонта, оснащении ремонтных подразделений дорогами трубоукладчиками, на порядок повышается безопасность выполнения земляных и, в целом, ремонтных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баловнев В. И. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. М.: Транспорт, 1983. – 183 с.
2. Василенко С. К. Технология и комплекс технических средств для капитального ремонта магистральных нефтепроводов без подъема трубы / С. К. Василенко, А. В. Быков, В. Д. Мусийко // Трубопроводный транспорт нефти. – М.: АК «Транснефть», 1994. – №2. – С. 25–28.

3. ВБН В.3.1-320.20077720.01-2001. Технология капитального ремонта магистральных трубопроводов диаметром 530-1220 мм с заменой изоляции без подъема трубопровода с применением комплекса машин повышенной производительности.
4. Гарбузов З. Е., Донской В. М. Экскаваторы непрерывного действия. М.: Машиностроение, 1971. – 359 с.
5. Кумылганов А. С. Совершенствование техники и технологии капитального ремонта магистральных нефтепроводов АК "Транснефть" / А.С. Кумылганов // Трубопроводный транспорт нефти. – 1998. – Специальный выпуск. – С. 35-38.
6. Мусійко В.Д. Екскаватори поздовжнього копання: навч. посібник / В. Д. Мусійко. – К.: НТУ, ЗАТ «Віпол», 2008. – 233 с.
7. Патент на изобретение 2129193 Российская Федерация, МПК6 E02F5/06. Машина для послойной разработки грунта / Быков А.В., Василенко С.К., Коваль А.Б., Мусийко В.Д. [и др.] ; заявители и патентообладатели АО открытого типа АК "Транснефть" (RU); Предприятие Приднепровских магистральных нефтепроводов (UA); ООО Научно-исследовательский и технический центр "Ротор" (UA) – № 97106689/03 ; заявл. 06.05.1997; опубл. 20.04.1999.
8. Сайт «Укртрансгаз» – Режим доступа: URL: <http://utg.ua>.
9. Сайт «Укртранснафта» – Режим доступа: URL: <http://www.ukrtransnafta.com/ua/>.
10. Сощенко А. Е. Машины для капитального ремонта нефтепроводов / А.Е. Сощенко // Трубопроводный транспорт нефти. – 2008. – № 1. – С. 40-44.
11. Хмара Л. А. Машины для земляних робіт / Л. А. Хмара, С. В. Кравець та інші. – Харків, ВКФ «Фавор», - 2014. – 548 с.
12. Patent 1013834 European, Int.Cl. (2006.01) E02F 1/00, E02F 5/10. Machine for digging into the lower layers of the ground / Alexandr V. Bykov, Stanislav K. Vasilenko, Andrei B. Koval, Alexandr S. Kumylganov, Efim A. Kushnir, Jury M. Mamontov, Aly A. Movchan, Vladimir D. Musiiko, Valery D. Chernaeve, Viktor I. Yakovlev – № 98926026.0 ; Date of filing 06.05.1998 ; Date of publ. 26.04.2006, Bul. 2006/2612.

REFERENCES

1. Balovnev V. I. *Intensifikaciya zemlyanykh rabot v dorozhnom stroitel'stve* [Intensification of earthworks in road construction] / V. I. Balovnev, L. A. Khmara. Moscow.: *Transport*, 1983. – 183 p. (in Russian).
2. Vasilenko S. K. *Texnologiya i kompleks texnicheskix sredstv dlya kapital'nogo remonta magistral'nykh nefteprovodov bez pod"ema truby* [Technology and complex of technical means for the overhaul of main oil pipelines without lifting tube] / S. K. Vasilenko, A. V. Bikov, V. D. Musiiko // *Truboprovodnyj transport nefti - Oil pipeline transport*. – Moscow.: "Transneft", 1994. – №2. – P. 25–28. (in Russian).
3. VBN V.3.1-320.20077720.01:2001. Technology of the major overhaul of main pipelines with a diameter of 530-1220 mm with the changing of the isolation without lifting the pipe by using the high-productivity machines (in Russian).
4. Garbuzov Z. E., Donskoi V. M. *Ekskavatory nepreryvnogo dejstviya* [Continious action excavators]. Moscow.: *Machinery*, 1971. – 359 p. (in Russian).
5. Kumilganov A. S. *Sovershenstvovanie texniki i texnologii kapital'nogo remonta magistral'nykh nefteprovodov AK "Transneft"* [Improving of the engineering and technology of the overhaul of main oil pipelines]/ A. S. Kumilganov // *Truboprovodnyj transport nefti - Oil pipeline transport*. – 1998. – Special edition. – P. 35-38. (in Russian).
6. Musiiko V. D. *Ekskavatory pozdovzhnoho kopannia* [Length digging excavators] / V. D. Musiiko. – Kyiv.: National Transport University, JSC "Vipol", 2008. – 233 p. (in Ukrainian)
7. Patent 2129193 Russian Federation, MPK6 E02F5/06. *Mashina dlya poslojnoj razrabotki grunta* [Machine for layered soil development] / Bikov A. V., Vasilenko S. K., Koval A. B., Musiiko V. D. [and others]; applicants and patent holders an open joint-stock company "Transneft" (RU); Enterprise of Pridneprovskie main oil pipelines (UA); Ltd. Research and Technology Center "Rotor" (UA) – № 97106689/03; st. 06.05.1997; publ. 20.04.1999. (in Russian).
8. Web site of «Ukrtransgaz» – Access mode: URL: <http://utg.ua>.
9. Web site of «Ukrtransnafta» – Access mode: URL: <http://www.ukrtransnafta.com/ua/>.
10. Soschenko A. E. *Mashiny dlya kapital'nogo remonta nefteprovodov* [Oil pipelines main overhaul machines]/ A. E. Soschenko // *Truboprovodnyj transport nefti - Oil pipeline transport*. – 2008. – № 1. – P. 40-44. (in Russian).
11. Khmara L. A. *Mashyny dlia zemlianykh robit* [Earthworks machines] / L. A. Khmara, S. V. Kravets and others. – Kharkiv, «Favor», - 2014. – 548 p. (in Ukrainian).
12. Patent 1013834 European, Int.Cl. (2006.01) E02F 1/00, E02F 5/10. Machine for digging into the lower layers of the ground / Alexandr V. Bykov, Stanislav K. Vasilenko, Andrei B. Koval, Alexandr S. Kumylganov, Efim A. Kushnir, Jury M. Mamontov, Aly A. Movchan, Vladimir D. Musiiko, Valery D. Chernaeve, Viktor I. Yakovlev – № 98926026.0 ; Date of filing 06.05.1998 ; Date of publ. 26.04.2006, Bul. 2006/2612.